

УДК 662.2:658.567.5:502.175

М.В. Попова, А.В. Литвинов

ОАО «ФНПЦ „Алтай“», г. Бийск

С.Н. Козлов

Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного
технического университета им. И.И. Ползунова

ИНФОРМАЦИОННАЯ СТРУКТУРА КОНТРОЛЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОГНЕВОЙ УТИЛИЗАЦИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЗАРЯДОВ РДТТ НА ОТКРЫТОМ СТЕНДЕ

Рассмотрены факторы, определяющие экологическую безопасность открытого стенда при огневой утилизации твердотопливных зарядов. Определены понятия экологической безопасности и экологического риска в данной предметной области. Выделены задачи связи в едином информационном поле системы контроля и обеспечения экологической безопасности: создание информационно-управляющей системы на основе системного анализа процессов, обуславливающих характер выбросов в атмосферу после орошения струи продуктов сгорания водой; разработка структуры и содержательной части этой системы; объединение алгоритмов и моделей этих процессов в едином информационном поле. Система обеспечения экологической безопасности структурно разделена на подсистемы – Регулятор и Распределитель, для каждой из которых построены функциональные модели. Разработка функциональных моделей Регулятора и Распределителя проводится на основе существующих физико-математических моделей орошаемой струи и облака продуктов сгорания, поднимающегося в атмосфере как влажный остаток струи после орошения. Разработана структура информационно-управляющей системы, отражающей функциональную зависимость параметров экологической безопасности от расходной характеристики водной экологической защиты. Показано, что декомпозиция блока управления на подсистемы Регулятор и Распределитель позволяет обеспечить полную идентификацию процессов в рамках этих подсистем. При проектировании информационно-управляющей системы построены диаграммы потоков данных, концептуальная модель системы, единая логическая модель базы данных, логические модели подсистем Регулятора и Распределителя, глобальная логическая и физическая модели системы. Разработанная методология создания информационно-управляющей системы под задачи огневой утилизации твердотопливных зарядов ракетных двигателей для открытых стендов является типовой для существующего техпроцесса и может использоваться при проектировании и эксплуатации аналогичных систем.

Ключевые слова: экологическая безопасность, экологический риск, статическое сжигание, огневая утилизация, энергетическая установка, информационно-управляющая система, системный анализ, техническая система, проектирование информационных систем, глобальная логическая модель данных.

M.V. Popova, A.V. Litvinov

FR&PC "Altay" JSC, Biysk

S.N. Kozlov

Biysk Technological Institute

INFORMATION STRUCTURE OF CONTROL AND PROVISION OF ECOLOGICAL SAFETY IN FIRING UTILIZATION OF LARGE-SCALE SRM CHARGES AT AN OPEN TEST BENCH

Factors defining the ecological safety of an open test bench at firing utilization of solid propellant charges (SRM) have been discussed. Concept of ecological safety and ecological risk in this subject field have been determined. The problems of relation in the united information field of the controlling system to provide ecological safety have been indicated: development of information-control system based on processes of systems analysis, specifying the character of air exhausts after water irrigation of combustion products jet; development of the structure and the main part of this system; combination of algorithms and models of these processes in the unique information field. The system of providing ecological safety is structurally divided into subsystems, i.e. the Regulator and the Distributor, functional models being built for each of them. The functional models of the Regulator and the Distributor have been developed on the base of existing physico-mathematical models of the irrigated jet and a cloud of combustion products going up to the atmosphere as humid remains of the jet after its irrigation. The structure of information-control system indicating the functional dependence of ecological safety parameters on the flow rate characteristic of water ecological protection has been developed. It is shown that decomposition of control unit into subsystems, the Regulator and the Distributor, allows to provide the complete identification within the frames of these subsystems. While designing the information-control system there have been built diagrams of data flows, conceptual model of the system, united logical model of database, logical models of the Regulator and the Distributor subsystem and global logical and physical models of the system. The developed methodology of this information-control system fitted for problems of firing utilization of solid propellant charges at open test benches is typical for the existing process and can be used when designing and operating the same systems.

Keywords: ecological safety, ecological risk, static firing, firing utilization, propulsion plant, information-control system, systems analysis, technical system instrumentation, designing of information systems, global logical model of data.

УДК 629.7.036.54-66.02:539.3

А.А. Ершова, А.Б. Ознобишин

ОАО «Научно-производственное объединение „Искра“», г. Пермь

П.П. Еременко

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ «КОРПУС – ТЗП – ЗАРЯД»

Для обеспечения разгрузки зон с высокой концентрацией напряжений в конструкции ракетного двигателя твердого топлива (РДТТ) применяются манжетные раскрепления, которые позволяют перераспределять поля напряжений и деформаций в объеме заряда. Более точное определение напряженно-деформированного состояния (НДС) теплозащитного покрытия (ТЗП) в зоне замка манжетного раскрепления и в зоне скрепления заряда с корпусом позволяет повысить эффективность коррекции конструктивных параметров с целью повышения качества и надежности изделия. В связи с этим проведен расчет НДС системы «корпус – ТЗП – заряд» при действии внутрикамерного давления для момента времени выхода двигателя на режим. Задача решена методом конечных элементов в осесимметричной постановке. В расчет заложены линейные физико-механические свойства корпуса РДТТ, полученные по результатам испытаний корпуса на действие внутрикамерного давления; линейные физико-механические свойства теплозащитного покрытия; нелинейные (вязкоупругая модель) физико-механические свойства заряда твердого топлива. В результате расчета получена закономерность распределения сдвиговых напряжений по длине скрепления «ТЗП – заряд» и «корпус – ТЗП». Рассмотрено влияние разгрузочных клиньев на НДС системы «корпус – ТЗП – заряд». Данный метод определения НДС системы «корпус – ТЗП – заряд» предложено применять на предприятии ОАО НПО «Искра».

Ключевые слова: ракетный двигатель твердого топлива, заряд, численное моделирование, метод конечных элементов, осесимметричная задача, оценка напряженно-деформированного состояния, вязкоупругость, прочность, внутрикамерное давление.

A.A. Ershova, A.B. Oznobishin

Scientific Production Association "Iskra" JSC, Perm

P.P. Eremenko

Perm National Research Polytechnic University

ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE OF "CASE – INSULATION – GRAIN" SYSTEM

To provide the unloading of high tension areas in solid propellant rocket motor (SPRM) it is used the unloading cup which redistributes fields of tension and deformations in volume of grain. The more accurate estimation of stress-strain state of insulation in the field of unloading cup and in the field of

case-grain bonding allows to increase efficiency of correction of design factor to improve the quality and reliability of a product. In this connection the calculation of stress-strain state of case-insulation-grain system when acting chamber pressure of ignition transient regime is carried out. The problem was solved by finite element method in axial-symmetric statement. In solution were used: linear physical-mechanical properties of SPRM, obtained by experimental tests of case loaded by chamber pressure; linear physical-mechanical properties of insulation; nonlinear (viscoelastic model) physical-mechanical properties of solid propellant grain. It was obtained by calculation the law of distribution of shearing stress along the insulation-grain and case-grain bonding. The influence of unloading wedge on stress-strain state of case-insulation-grain system was considered. The estimation method of stress-strain state of case-insulation-grain system was introduced at Scientific Production Association "Iskra" JSC.

Keywords: solid propellant rocket motor, grain, computational modeling, finite element method, axial-symmetric problem, evaluation of stress-strain state, viscoelasticity, durability, chamber pressure.

УДК 519.67

А.В. Туснин, С.А. Шаламов, В.Г. Августинович

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ СЕТОЧНОЙ МОДЕЛИ НА ПРИМЕРЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Представлена последовательность подготовки геометрической модели в системе автоматизированного проектирования (в коммерческих пакетах NX и ANSYS ICEM CFD) на примере камеры сгорания газотурбинного двигателя. Отмечены важные моменты редактирования геометрической модели, которые позволяют повысить качество элементов сеточной модели и избежать ошибок в режиме автоматического сеткопостроения в дальнейшем. Предложена последовательность действий по редактированию в коммерческом пакете ANSYS ICEM CFD, подробно описывающая приемы, позволяющие сократить вычислительные и временные ресурсы для создания сеточных моделей. Описаны процессы создания поверхностной и объемной сетки с тетраэдральными элементами на основе геометрической модели. Обозначены требования к процессу сеткопостроения и описаны особенности генерации сеточной модели, которые оказывают влияние на качество элементов поверхностной и объемной сеток. Подробно рассмотрен этап построения объемных призматических элементов на поверхностях сеточной модели, необходимых для корректного описания пограничного слоя с помощью моделей турбулентности.

Статья актуальна для специалистов в области трехмерного численного моделирования процессов в разнообразных технических приложениях. Следование рекомендациям, приведенным в статье, позволяет избегать наиболее распространенных ошибок при генерации сеточных моделей, а также экономить временные и вычислительные ресурсы, необходимые для создания сеточной модели.

Ключевые слова: камера сгорания, газотурбинный двигатель, сеточная модель, построение сетки, метод конечных объемов, поверхностная сеточная модель, объемная сеточная модель, метод Octree, метод Delaunay, ANSYS ICEM CFD.

A.V. Tusnin, S.A. Shalamov, V.G. Avgustinovich

Perm National Research Polytechnic University

THE PROCEDURE OF MESHING MODEL CONSTRUCTION BY THE EXAMPLE OF THE GAS-TURBINE ENGINE COMBUSTION CHAMBER

The sequence of preparation of a geometric model in a system of automated designing (commercial software NX and ANSYS ICEM CFD) by the example of the gas-turbine engine combustion chamber is suggested. The most important moments of editing this model which let to improve the quality of meshing model elements and avoid the further mistakes in a hands-off mode are pointed out. The sequencing of actions of editing in commercial software ANSYS ICEM CFD is suggested and the methods that help to reduce time and computer resources needed to construct meshes based on a geomet-

ric model are described. The processes of building surface and volume tetra-meshes are described. The requirements to the construction are designated and several features of meshing model construction that influence on the quality of surface and volume meshes elements are described. The stage of construction of volume prismatic elements on the meshing model surface needed to describe correctly the surface boundary layer by using the models of turbulence is reviewed in detail.

The article is especially relevant among the specialists of 3D numerical simulation of processes in several technical applications. Following the guidelines given in the article can help to avoid the most common mistakes during generation of meshing models and give the opportunity to save time and computer resources needed to construct meshes.

Keywords: combustion chamber, gas-turbine engine, meshing model, construction of meshing model, method of finite volumes, surface meshing model, volume meshing model, Octree method, method of Delaunay, ANSYS ICEM CFD.

УДК 669-1

А.С. Ермолаев, А.М. Иванов, С.А. Василенко

ОАО «Авиадвигатель», г. Пермь

**ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЦЕССЫ
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И РЕМОНТЕ ДЕТАЛЕЙ
ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

В зарубежном и российском авиационном производстве лазерные методы обработки материалов применяются сравнительно давно. Следует, однако, учитывать, что внедрение новых технологических процессов требует огромного количества испытаний и согласований, в результате от появления идеи до внедрения технологии в производство может пройти не один год. В данной статье рассмотрены примеры применения лазерного раскроя, 3D-лазерной резки, сварки и порошковой наплавки LMD (Laser Metal Deposition) при изготовлении различных компонентов авиационного двигателя и ремонте ответственных деталей из жаропрочных никелевых и титановых сплавов компрессора высокого давления и камеры сгорания, описаны преимущества, которые способствуют внедрению лазерной обработки в производство.

Ключевые слова: лазерная адаптивная наплавка, ремонт, блиск, лопатка, компрессор высокого давления, лазерная сварка, перфорация отверстия, технология.

A.S. Ermolaev, A.M. Ivanov, S.A. Vasilenko

Aviadvigatel OJSC, Perm

**LASER TECHNOLOGY AND PROCESSES
WHEN MANUFACTURING AND REPAIR OF DETAILS
OF THE GAS-TURBINE ENGINE**

In foreign and Russian aviation manufacture the laser methods of material processing are applied rather for a long time. It is necessary to consider however, that introduction of new technological processes requires huge quantity of tests and coordination, as a result from appearance of idea to introduction of technology in manufacture one can pass not one year. In the article the examples of application 3D laser cutting are considered, weldings and laser powder cladding LMD (Laser Metal Deposition) when manufacturing various components of the aviation engine and when repair of responsible details from heat resisting nickel and titanium alloys of the high pressure compressor and the chamber of combustion. It is described advantages which allow to achieve introduction of laser processing in manufacture.

Keywords: laser adaptive cladding, repair, blisk, blade, high pressure compressor, laser welding, punching of an aperture, technology.

УДК 532.28:621.628

В.И. Барышев, К.К. Лайко, П.В. Анищенко

Южно-Уральский государственный университет
(Национальный исследовательский университет), г. Челябинск

КРИТЕРИИ ПРОЧНОСТИ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Обсуждается термин «прочность жидкости», особенности критериев, численно его характеризующих, и правомерность использования термина «давление». Рассмотрен процесс сохранения и снижения прочности жидкости в современном силовом гидроприводе. Показана практическая значимость формулировки критерия прочности жидкости для комплексной оценки состояния рабочих жидкостей как альтернативы существующим критериям выбраковки (вязкости, концентрации механических примесей, кислотного числа, водосодержания и т.п.). Приведены примеры износа элементов узлов и агрегатов, для которых рабочая жидкость не была сменена ввиду сохранения критериев в установленных пределах.

Представлено сравнение исследований прочности жидкости по используемым критериям, способам подготовки образца жидкости к исследованию, предотвращения попадания воздуха в замкнутый объем и др. Приведены значения прочности, получаемые с помощью различных методов. Существенный разброс значений прочности от 0 до 1000 МПа при значительной обособленности методик, мировые тенденции повышения мощностей машин, требований к качеству и ресурсу материалов, необходимость энерго- и ресурсосбережения делают изучение данного вопроса сложным, интересным, актуальным и имеющим прикладное значение.

Представлена разработанная исследовательская установка для сифонного метода исследования прочности жидкости. Описаны выявленные опасные особенности метода, способные привести к существенному искажению результатов. В дополнение к классическим критериям прочности, основанным на оценке давления (напряжения, $\text{Па} \equiv \text{Н/м}^2$), предложен критерий на основе оценки энергии растяжения (Дж). Обозначены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: жидкость, кавитация, прочность жидкости, несплошность, давление, разрыв, отрицательное напряжение, газосодержание, воздух в жидкости.

V.I. Baryshev, K.K. Laiko, P.V. Anischenko

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk

STRENGTH CRITERIA OF WORKING FLUIDS

«Liquid strength» term, criteria quantitatively determining liquid strength, appropriateness of «pressure» term under conditions of interest are discussed. Liquid strength conservation and reduction processes in modern power hydraulic drives are considered. Practical importance of formulation of water strength criterion is stated. Such a criterion is needed in order to give comprehensive estimate of working fluid state as an alternative to existing defects criteria (viscosity, concentration of chemical admixtures, acid number, liquid abundance etc). Examples of wear of units elements for which working fluid isn't changed because of criteria conservation in normative limits are presented.

Comparison of experimental methods for liquid strength determination is carried out in terms of strength criteria, methods of liquid samples preparation for measurements, methods of prevention of air invasion into the bounded volume etc. Liquid strengths obtained with help of different methods are presented. The wide range of liquid strengths obtained in conditions of considerable difference of techniques, world tendency of increase of drives power, increase of service life and quality requirements, the need of energy-saving and resource-saving make great relevance and practical importance of considered topic.

Experimental device based on bellow method of liquid strength investigation is constructed and presented. Discovered dangerous features of the method used that are capable to strongly change measurements results are described. Liquid strength criterion based on tension energy (J) estimate is proposed in addition to existing canonical criteria based on pressure estimation (Pa). Prospects for future works are stated.

Keywords: liquid, cavitation, strength of liquid, discontinuity, pressure, gap, negative pressure, gas concentration, air in the liquid.

УДК 62-335

Д.Л. Лернер

Южно-Уральский государственный университет
(Национальный исследовательский университет), г. Челябинск

ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТРОЙСТВА СОПЛО – ЗАСЛОНКА ПРИ ОБРАТНОМ ТЕЧЕНИИ

Рассмотрены вопросы проектирования устройства сопло – заслонка с заданными характеристиками и возможность замены экспериментальной доводки численным моделированием. Моделирование проводилось с целью определения гидравлических характеристик устройства и силового воздействия жидкости на заслонку для дальнейшего проектирования привода заслонки. Представлен краткий обзор инженерных пакетов численного моделирования, применяемых для решения задач определения параметров течения жидкости в устройствах с аналогичной геометрией и условиями работы. Расчеты проведены для различных направлений течения потоков в устройстве сопло – заслонка. Проведена верификация результатов, полученных пакетом численного моделирования, путем сравнения расчетов с экспериментальными данными, опубликованными в литературе. Для проектируемого устройства получены расходно-перепадные характеристики, рассчитано силовое воздействие жидкости на заслонку при работе устройства, вычислено значение коэффициента расхода для различных условий работы устройства при заданных значениях номинального расхода и давления. Это позволило на начальном этапе проектирования выбрать оптимальную конструкцию устройства и отказаться от дорогостоящих натурных экспериментов. Приведенная методика расчета позволит скорректировать гидравлические и силовые характеристики устройства, внося изменения в геометрию проточной части на стадии разработки.

Ключевые слова: численное моделирование, устройство сопло – заслонка, расчетная модель, дросселирующая щель, коэффициент расхода, силовое воздействие, распределение давления в канале, SolidWorks FlowSimulation, методика расчета, гидравлические характеристики.

D.L. Lerner

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk

NOZZLE-GATE DEVICE CHARACTERISTICS AT THE CONTRAFLOW

The questions of designing of the nozzle-flapper valve with specified characteristics and the possibility to use numerical simulation instead of experimental tests were considered. Modeling was conducted to determine hydraulic characteristics of valve and the flow force action to the flapper for further designing flapper drive. A brief review of engineering computer program of numerical simulation is introduced to solve problem of determination of flow parameters in devices with same geometry and operating conditions. The calculations were conducted for different directions of flow in the nozzle-flapper valve. Verification of modeling results obtained by computer program was conducted by comparison of computations with the test data existing in literature. For given values of flow rate and ratio of flow pressure to pressure differential the diagrams of the device projected were got. Action force of flow to the flapper and the flow coefficient were calculated at different operating conditions of valve. These computations make it possible choosing of device optimum design on an initial design phase and refus-

ing from expensive natural experiments. The mentioned design procedure lets to correct the hydraulic and force characteristics with changes in geometry of liquid part on development stage.

Keywords: numerical modeling, device nozzle-gate, computational model, throttling slot, flow rate factor, force action, pressure distribution in the channel, SolidWorks FlowSimulation, design procedure, hydraulic characteristics.

УДК 536.46:621.762:662.612

Ф.Н. Чернов, В.И. Малинин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ВЫДЕЛЕНИЕ НАНОДИСПЕРСНОГО ОКСИДА ИЗ СУСПЕНЗИИ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ МЕТАЛЛОГАЗОВОЙ СМЕСИ

Рассматривается модель осаждения частиц в слабоконцентрированной суспензии, которая учитывает влияние броуновского движения. Определяется критерий необходимости учета броуновского движения (A) при осаждении дисперсного оксида: для равновесного распределения в слое суспензии при $A \gg 1$ весь объем частиц находится у самого дна емкости, при $A \leq 1$ частицы распределяются по всей высоте столба жидкости. Рассчитываются параметры гравитационного осаждения и распределения наночастиц по высоте слоя суспензии. Расчет показывает невозможность выделения методом гравитационного отстоя частиц диаметром менее 50 нм. Сократить время осаждения наночастиц и избавиться от влияния броуновского движения предлагается с помощью применения эффекта электрофореза. Рассчитываются параметры осаждения частиц дисперсного оксида с помощью электрофореза. Сравнительный анализ показывает, что применение электрического поля позволяет сократить время осаждения частиц размером менее 100 нм при толщине слоя 5 см приблизительно в 900 раз и значительно уменьшить влияние броуновского движения, что делает целесообразным применение электрофореза для промышленного выделения наночастиц.

Ключевые слова: наноультрадисперсный оксид, слабоконцентрированная стабильная суспензия, броуновское движение, наночастицы, интегральное распределение, электрофорез, параметр Дебая, электрокинетический потенциал.

F.N. Chernov, V.I. Malinin

Perm National Research Polytechnic University

EXTRACTION OF THE NANODISPERSE OXIDE FROM SUSPENSION OF COMBUSTION PRODUCTS OF THE METAL GAS MIXTURE

It is considered the model of sedimentation of particles in weak suspension which considers influence of Brownian motion. In sedimentation of disperse oxide the criterion of need of the accounting of Brownian motion is defined: for equilibrium distribution at $A \gg 1$ all volume of particles is in a suspension layer at the bottom of capacity; at $A \leq 1$ particles are distributed on all height of liquid column. Parameters of gravitational sedimentation and distribution of nanoparticles on height of suspension layer are calculated. Calculation shows impossibility of extraction of particles with diameter less than 50 nanometers by a method of gravitational sedimentation. To reduce time of nanoparticles sedimentation and to get rid of influence of Brownian motion it is offered to apply the electrophoresis effect. Parameters of nanoparticles sedimentation of disperse oxide by means of an electrophoresis are calculated. The comparative analysis shows that application of electric field allows to reduce time of sedimentation

of particles less than 100 nanometers in size at a thickness of layer of 5 cm approximately by 900 times and considerably to reduce influence of Brownian motion that does expedient the application of electrophoresis for industrial extraction of nanoparticles.

Keywords: nanosuperdispersed oxide, weak stable suspension, Brownian motion, nanoparticles, integral distribution, electrophoresis, Debye's parameter, electrokinetic potential.

УДК 621.453

А.А. Обросов, Е.С. Земерев, В.И. Малинин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ФИЛЬТРАЦИЯ И ИСТЕЧЕНИЕ ПОРОШКОВО-ГАЗОВОЙ СМЕСИ ИЗ СТРУЙНОЙ ФОРСУНКИ УСТАНОВКИ СИНТЕЗА НАНООКСИДА АЛЮМИНИЯ

Описано экспериментальное исследование процесса истечения двухфазной среды из отверстия при высоких концентрациях дисперсной фазы. Разработана экспериментальная установка и методика исследования фильтрации газа через порошок и истечения газа и порошка из отверстия. Проведены исследования истечения порошкообразного алюминия и газа из струйной форсунки на этой установке. Получены зависимости расходов порошка и отдельно газа от давления перед выпускным отверстием при различных диаметрах отверстия. Выведены полуэмпирические формулы для определения расхода фильтрующегося через порошок газа, перепада давления, расхода газа, истекающего через форсунку. Показано, что массы газа, закачанного в поровый объем порошка при предварительном газонасыщении, недостаточно для стабильного истечения порошка. Поэтому необходима дополнительная подача газа и последующая его фильтрация к выпускному отверстию для поддержания давления в порошке на постоянном уровне и обеспечения постоянного процесса истечения порошка и газа. При этом расход газа относительно расхода порошка имеет линейный характер зависимости от давления перед выпускным отверстием и не превышает 1,5 %.

Ключевые слова: порошок, поровый объем, фильтрация газа, газонасыщение, струйная форсунка, истечение двухфазной среды, выпускное отверстие, наноксид алюминия.

A.A. Obrosoy, E.S. Zemerev, V.I. Malinin

Perm National Research Polytechnic University

FILTRATION AND OUTFLOW OF GASPOWDER MIXTURE FROM SPRAY INJECTOR OF A PLANT FOR ALUMINIUM NANOOXIDE SYNTHESIS

In this work it is considered the experimental investigation of two-phase medium outflow from orifice when high density of dispersed phase. Experimental unit, the technique of study of gas filtration through powder and the outflow of gas from orifice have been developed. The investigations of powdery aluminium outflow and gas from spray injector have been made with experimental unit. Dependences of powder consumption and gas on pressure in front of orifice for various orifice diameters have been obtained. Semi-empirical relations for the consumption being filtered through powder of gas, pressure gradient, gas consumption through spray injector have been derived. It has been showed that mass of gas, having been pumped into void volume of powder when preliminary gasing, is not enough for stable outflow of powder. Thus additional feeding of gas and further filtration of gas to orifice are needed to maintain the pressure in powder at fixed level and to ensure the on-going process of outflow

of powder and gas. Under such conditions the gas consumption relatively powder consumption in front of orifice has linear relation on pressure and does not exceed 1,5 %.

Keywords: powder, void volume, gas filtration, gasing, spray injector, outflow of two-phase medium, orifice, aluminium nanooxide.

УДК 621.453

**П.И. Федоровцев, Е.С. Земерев,
В.И. Малинин, А.В. Шатров**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ОТБОРА ДИСПЕРСНЫХ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ УСТАНОВКИ СИНТЕЗА НАНООКСИДА АЛЮМИНИЯ

Описаны конструктивные решения, принятые для устранения основных недостатков существующего устройства отбора конденсированных продуктов сгорания установки синтеза дисперсных оксидов металлов. Основными изменениями являются введение в конструкцию устройства улавливания винтового шнека, замкнутого контура циркуляции охлаждающей воды, теплообменника и устройств подпитки и слива суспензии. Изменения конструкции связаны с увеличением продолжительности времени непрерывной работы устройства и повышением его эффективности. Разработана технологическая схема процесса улавливания дисперсных продуктов сгорания установки синтеза. Описан технологический процесс отбора. Проведен тепловой и газодинамический расчет устройства улавливания. Определены основные параметры узла диспергирования воды. Установлены тепловые и газодинамические параметры двухфазного потока в устройстве отбора. Аналитически определены расход водяного пара и скорость движения газового потока. На основании оценочных расчетов сделан вывод о целесообразности включения в конструкцию устройства отбора конденсированных продуктов сгорания винтового шнека.

Ключевые слова: наноксид, охлаждение, форсунка, рециркуляция, винтовой шнек, барботирование, отбор, продукты сгорания, теплообменник, расчет тепловых и газодинамических параметров.

**P.I. Fedorovtsev, E.S. Zemerev,
V.I. Malinin, A.V. Shatrov**

Perm National Research Polytechnic University

DEVELOPMENT OF THE DEVICE FOR SELECTION OF DISPERSE COMBUSTION PRODUCTS OF A PLANT FOR ALUMINIUM NANOOXIDE SYNTHESIS

In this work it is considered the description of the constructive decisions made for elimination of the main shortcomings of the existing device for selection of condensed combustion products of plant for synthesis of disperse oxides of metals. The main changes are the insertion in design of the catching device the screw auger, the closed contour for circulation of cooling water, the heat exchanger and devices of feed and draining of suspension. Changes in construction are caused by increasing the duration of device continuous operation time and device efficiency. Technological process to select the disperse products has been described. The thermal and gasdynamic calculation of the device for selection has been performed. Thermal and gasdynamic parameters of two-phase flow in the device for selection

has been defined. Mass rate and velocity of gas flow has been defined analytically. On the basis of calculations the conclusion about reasonability of inclusion the screw auger in construction of device for selection of condensed combustion products has been made.

Keywords: nanooxide, cooling, jet, recirculation, screw auger, barbotage, selection, combustion products, heat exchanger, calculation of thermal and gasdynamic parameters.

УДК 678.4

Е.Ю. Ибрафилова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

В.М. Зиновьев, Ф.С. Красильников

ОАО «Научно-исследовательский институт полимерных материалов», г. Пермь

ПРИБОРНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ РЕЗИН ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Предложено устройство, позволяющее оценить качество ультрафиолетового (УФ) облучения за счет измерения разницы показаний веса жидкости до погружения образца в нее и веса адсорбированной жидкости на облученной поверхности образца в момент извлечения его из жидкости с фиксацией полученных данных на компьютер. Устройство включает чашу с адсорбирующей жидкостью и узел погружения-извлечения образца резины защитно-крепящего слоя в чашу. Указанный узел выполнен в виде пружинного механизма и дополнительно оснащен демпфером-успокоителем, функционирующим в противофазе с узлом погружения-извлечения образца резин. Демпфер-успокоитель выполнен в виде гидравлического цилиндропоршневого устройства, кинематически связанного с узлом погружения-извлечения образца резин в чашу с адсорбирующей жидкостью. Эффективность устройства подтверждается испытаниями образцов-свидетелей, поверхность которых облучена УФ-светом с различным временем обработки.

Представлены зависимости количества адсорбированной жидкости на облученной поверхности образцов-свидетелей из дивинилизопреновой и этиленпропилендиеновой резин (51-1667 и 51-2185) и прочности адгезии этих резин к стали от продолжительности обработки резин УФ-светом. Полученные данные отслеживают изменения зависимости от продолжительности УФО, что позволяет использовать данное устройство для оценки качества облучения УФ-светом поверхности вулканизированных резин при подготовке их к склеиванию с металлами.

Ключевые слова: ультрафиолетовое облучение, поверхность, устройство, эффективность облучения, адсорбированная жидкость, образцы-свидетели.

E.Yu. Israfilova

Perm National Research Polytechnic University

V.M. Zinovev, F.S. Krasilnikov

Scientific Research Institute of Polymer Materials OJSC, Perm

INSTRUMENTATION OF RUBBER SURFACE QUALITY ESTIMATION AFTER ULTRAVIOLET EXPOSURE

It is suggested device allowing to estimate the quality of rubber ultraviolet irradiations by measurement the difference in mass of liquid defined before submersion of a sample in to it and mass of the adsorbing liquid on the sample irradiated surface at the moment of its extraction from the liquid with fixing the data received on computer. The liquid chosen to determine the vulcanized rubber irradiation quality represents 15...20 % ethyl alcohole solution in distilled water. The device includes a cup with the adsorbing liquid and an assembly for submersion-extraction the protective-bonding layer rubber sample in to this cup. Above mentioned assembly was produced as a spring mechanism and additionally was equipped with damper-stabilizer, operating in antiphase with rubber sample submersion-extraction assembly. This damper-stabilizer was produced as hydraulic cylinder-piston mechanism kinematically connected with the rubber sample submersion-extraction assembly. The device efficiency is confirmed with the tests of a rubber specimen, the surface of which was irradiated by ultraviolet light during the different treatment time.

It is presented the relationship of the adsorbing liquid quantity on the irradiated surface of the rubber specimen made from divinylisoprene and ethylenepropylenediene rubber (51-1667 and 51-2185) and the relationship of the adhesion strength of these rubbers on duration of their (rubbers) treatment with ultraviolet light. The obtained results demonstrate the changes of this relationship on ultraviolet irradiations time that allows to use this device for estimating the quality of ultraviolet irradiated surface of vulcanized rubbers while preparing them for adhesion to metals.

Keywords: ultraviolet irradiation, surface, device, irradiation efficiency, adsorbing liquid, specimen of rubber.

УДК 678.664:532.13

А.В. Пospelov

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

В.М. Зиновьев, Ф.С. Красильников

ОАО «Научно-исследовательский институт полимерных материалов», г. Пермь

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОКИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОТВЕРЖДЕНИЯ КРЕПЯЩЕГО ПОЛИУРЕТАНОВОГО СОСТАВА

Исследование реокинетических закономерностей является неотъемлемым этапом в разработке любой полимеризационноспособной композиции, поскольку ее вязкость и жизнеспособность определяют качество конечного полимера и трудоемкость технологического процесса. В данной работе представлены результаты реокинетических исследований крепящего полиуретанового состава, анализ полученных зависимостей, рассчитаны константы процессов вязкого течения и отверждения, построена математическая модель процесса отверждения полимеризационноспособной композиции, позволяющей определить время жизнеспособности и теоретическое значение вязкости в определенные моменты времени при различных температурах, что необходимо для выбора оптимальных технологических параметров ее переработки и полимеризации.

Ключевые слова: крепящий полиуретановый состав, реология, вязкость, константы процессов вязкого течения и отверждения, математическая модель.

A.V. Pospelov

Perm Perm National Research Polytechnic University

V.M. Zinovjev, F.S. Krasilnikov

Scientific Research Institute of Polymer Materials OJSC

THE STUDY OF REOKINETICS RELATIONSHIPS OF THE BONDING POLYURETHANE COMPOUND

The study of reokinetics relationship is the inherent step in the development of any polymerizable composition because its viscosity and viability determine the finished polymer quality and laboriousness of technological process. The results of reokinetic studies of the bonding polyurethane compound and analysis of obtained relationships are presented. The constants of the viscous flow processes and solidification are calculated. The mathematical model of solidification process of the polymerizable compound allowing to determine the viability time and the theoretical value of viscosity in definite moment of time at different temperatures are built. This makes it possible to choose the optimal technological parameters of polymerizable compound processing and polymerization.

Keywords: bonding polyurethane compound, rheology, viscosity, viscous flow process and solidification constants, mathematical model.

УДК 678.744.5:531.72

О.А. Гладкова, А.М. Федосеев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

В.М. Зиновьев

ОАО «Научно-исследовательский институт
полимерных материалов», г. Пермь

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АПРОТОННОГО КАТАЛИЗАТОРА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ γ -ПОЛИОКСИМЕТИЛЕНА В СРЕДЕ ТОЛУОЛА

Разработана новая технология получения γ -полиоксиметилена (γ -ПОМ) полимеризацией 1,3,5-триоксана в присутствии апротонного катализатора – эфирата трехфтористого бора в среде озононеразрушающего растворителя – толуола с выходом продукта, превышающим выход γ -ПОМ, полученного по промышленной технологии, на 15–20 %. Анализы образцов γ -ПОМ, изготовленных по новой технологии, на соответствие показателям технических условий, изучение ИК-спектров, проведение дифференциально-термического (ДТА) и дифференциально-термогравиметрического (ДТГ) анализов, определение степени кристалличности показали, что полученный по новой технологии γ -ПОМ идентичен продукту, изготовленному по промышленной технологии. При полимеризации γ -ПОМ в среде толуола получается γ -ПОМ со СМРЧ менее 15 мкм.

Проведен полный трехфакторный эксперимент температурно-временных условий синтеза, который позволил определить оптимальные технологические режимы получения γ -ПОМ в среде толуола.

Ключевые слова: γ -полиоксиметилен, эфират трехфтористого бора, апротонный катализатор, растворитель, толуол, тетрахлорметан, среднемассовый размер частиц, полный трехфакторный эксперимент, уравнения регрессии.

O.A. Gladkova, A.M. Fedoseev

Perm National Research Polytechnic University

V.M. Zinovev

Scientific Research Institute of Polymer Materials OJSC, Perm

APPLICATION OF THE APROTONIC CATALYST WHILE FABRICATING γ -POLYOXYMETHYLENE IN TOLUENE MEDIUM

The new technology of γ -polyoxymethylene (γ -POM) fabrication by polymerization of 1,3,5-trioxane in the presence of the aprotonic catalyst, such as, boron trifluoride etherate in ozone nondestructive solvent medium like toluene with ultimate yield 15–20 % exceeding yield of γ -POM, produced

according to an industrial technology, has been developed. Analysis of γ -POM samples, fabricated by the new technology, on compliance with specifications, investigation of IR-spectral characteristics, carrying out of differential thermic analysis and differential thermogravimetric analysis, identification of the crystallinity degree showed that γ -POM, fabricated by the new technology was similar to the product, produced by an industrial technology. γ -POM polymerization with average mass particle size less than 15 μm is fabricated by γ -POM polymerization in toluene medium.

Full-scale three factor experiment of the synthesis temperature-time conditions has been performed, that allowed to determine optimal technological regimes of γ -POM fabrication in toluene medium.

Keywords: γ -polyoxymethylene, boron trifluoride etherate, aprotic catalyst, solvent, toluene, tetrachloromethane, average mass partical size, full-scale three factor experiment, equations of regression.